

DESAIN INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH INDUSTRI MINUMAN TEH DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM AEROBIK

Oei Tjin-Swan dan Hadi Sutanto

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jl. Jend. Sudirman 51, Jakarta 12930
Email: hadi.sutanto@atmajaya.ac.id

Abstrak

Air merupakan kebutuhan mutlak manusia yang ada di planet bumi ini. Berbagai macam kegiatan yang dilakukan oleh manusia memerlukan air, baik untuk kegiatan sehari-hari di rumah tangga, bisnis atau berbagai macam industri. Hasil sampingan dari penggunaan air mengakibatkan air menjadi tercemar, sehingga diperlukan industri pengolahan air limbah (ipal) agar diperoleh air dengan kualitas baku sesuai standar. Makalah ini akan membahas desain ipal yang digunakan untuk mengolah air limbah industri minuman teh dengan menggunakan sistem aerobik. Hasil perancangan menunjukkan bahwa untuk air limbah sebanyak kurang lebih 450 m^3 per hari atau 20 m^3 per jam diperlukan 2 (dua) unit kolam oksidasi (oxidation ditch). Luaran ipal hasil rancangan menunjukkan bahwa air limbah olahan (effluent) sudah sesuai dengan standar yang dipersyaratkan sebagai air baku.

Kata kunci: *air limbah (influent), air limbah olahan (effluent), ipal (instalasi pengolah air limbah), sistem aerobik, kolam oksidasi (oxidation ditch).*

Abstract

Water is an absolute necessity for mankind on this planet earth. We need water for almost everything we do, from starting drinking water to using water in household, at the office as well as for industrial works. As a result of these activities wastewater is produced as a by-product of it. Considering that some kinds of wastewater can be harmful for the environment this wastewater has to be treated before releasing it into the environment. This article deals with the design of a wastewater treatment facility at a factory for bottled tea drinks. The wastewater treatment plant (WWTP) was designed for a capacity of 450 m^3 / day (20 m^3 /hour) of wastewater, using an aerobic treatment system as process. The whole system consist of following treatment stages: A fat, oil & grease (FOG) trap ; a solid particle screen system ; neutralization tank ; equalization tanks (2 units) ; a primary clarifier ; a two stage oxidation ditch system ; a secondary clarifier ; sludge control system and finally a control tank before releasing the effluent. Laboratory test of the effluent proves that all values were below the required limits.

Key words: *influent, effluent, waste water treatment instalation, aerobic system, oxidation ditch.*

1. PENDAHULUAN

Sejak adanya awal kehidupan, air merupakan suatu kebutuhan yang mutlak bagi semua makhluk hidup, termasuk manusia. Secara alami air atau H_2O dapat berbentuk agregat sebagai padatan (berupa es atau salju), cair dan uap dengan temperatur dari $0^{\circ}C$ hingga $100^{\circ}C$. Air memiliki rapat massa 1000 kg/m^3 dan viskositas $1,0 \text{ mPa.s}$ pada temperatur $20^{\circ}C$. Sedangkan panas spesifik air adalah $4,18 \text{ kJ/kg}^{\circ}C$ dan panas evaporasi 2250 kJ/kg . Persyaratan kandungan kontaminan pada air berupa kontaminan terlarut sebesar $< 10 \text{ nm}$, koloidal $10 \text{ nm} - 1 \text{ }\mu\text{m}$ dan padatan $> 1 \text{ }\mu\text{m}$. Kandungan biologi antara lain berupa bakteri, patogen, substrat dan nutrisi [1].

Manusia menggunakan air dalam berbagai fungsi sesuai dengan kebutuhan manusia, seperti fungsi dasar untuk kebutuhan rumah tangga dan fungsi-fungsi khusus terkait dengan berbagai kegiatan manusia, industri, pertanian, perikanan, transportasi dan rekreasi atau olahraga [2]. Sebagai hasil sampingan dari bermacam penggunaan air, maka air menjadi tercemar oleh berbagai kontaminan atau pencemar, sehingga kualitas air yang ada di dalam berbagai penampung baik berupa air tanah atau air permukaan akan membahayakan makhluk hidup. Air yang sudah tercemar oleh berbagai bahan beracun, sisa logam berat atau bahan kimia lain disebut sebagai air limbah atau waste water [3]. Air limbah harus diolah terlebih dahulu sesuai dengan standar baku air, sebelum disalurkan sebagai air permukaan ke dalam sungai, danau atau laut. Pengolahan air limbah memerlukan instalasi pengolah air limbah (ipal), atau waste water treatment plant (wwtp) yang dirancang sesuai dengan kebutuhan [4]. Makalah ini akan menjelaskan desain dari suatu ipal yang digunakan untuk mengolah air limbah hasil industri minuman teh dengan kapasitas kurang lebih 450 m^3 per hari atau 20 m^3 per jam air limbah.

2. INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH (IPAL)

Instalasi pengolah air limbah (ipal) merupakan suatu kesatuan dari beberapa bagian peralatan yang berbeda untuk mengolah air

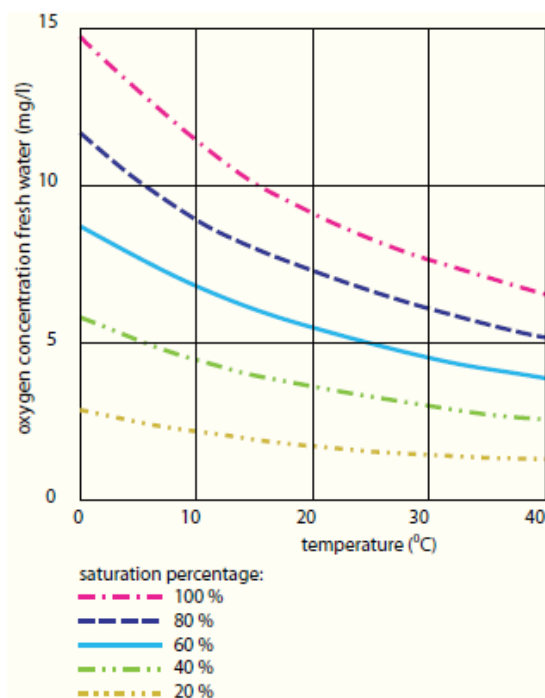
limbah. Perbedaan yang terdapat dalam ipal disebabkan oleh air limbah yang mempunyai berbagai macam sifat, atau struktur yang tergantung kepada asal air limbah tersebut. Air limbah hasil dari kegiatan rumah tangga mempunyai sifat dan kandungan berbeda dari air limbah yang dihasilkan oleh kegiatan suatu rumah sakit, atau dari sebuah pabrik yang memproduksi cat. Air limbah yang berasal dari sumber perumahan di kota atau urban area, relatif memiliki komposisi yang konstan. Ipal yang digunakan dalam industri, tergantung macam komposisi air limbah dari influent (air sebelum pengolahan) tergantung pada tipe industri dan manajemen [5]. Berbagai macam kandungan yang terdapat dalam air limbah memerlukan cara spesifik untuk memisahkannya keluar dari air. Oleh karena itu, suatu ipal merupakan satu kesatuan atau rangkaian dari bermacam proses pengolahan, yang tiap proses mempunyai fungsi dan tugas sendiri. Pencemar yang dibawa oleh aliran air limbah akan menentukan kapasitas biologikal yang diperlukan oleh ipal untuk menghilangkannya.

2.1. Pencemar Air Limbah

Pencemar air limbah dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu berupa padatan dan zat organik yang mampu didegradasi secara biologi (biodegradasi atau biodegradable) [6]. Ukuran padatan di dalam air limbah sangat berbeda, misalnya partikel yang nampak atau zat yang tidak larut memiliki ukuran $> 0,1 \text{ }\mu\text{m}$. Zat dengan ukuran partikel antara 1 dan 100 nm disebut partikel koloidal, sedangkan padatan yang larut memiliki ukuran dari 1 nm atau lebih kecil. Padatan tidak larut dapat dipisahkan dari padatan larut melalui filtrasi, yaitu sisa material dari dan pada bagian atas *filter* atau penapis, setelah dikeringkan dan ditimbang maka padatan tidak larut dapat ditentukan.

Zat organik pada air limbah terutama terbentuk dari karbon dan hidrogen yang terikat dengan elemen-elemen lain. Kandungan karbon secara tipikal dapat berbentuk karbohidrat atau $(CH_2O)_n$, lemak dari ester gliserin dan fatty acids, protein, urea dan detergen. Zat-zat lain yang tidak dapat dihilangkan melalui biodegradasi adalah garam, pasir, busa atau abu. Sebagai bagian utama dari zat mampu

biodegradasi, maka terdapat mikroorganisme aerobik yang memerlukan oksigen terlarut dalam proses. Mampu larut oksigen dalam air tergantung pada temperatur dan kandungan zat-zat terlarut. Hubungan antara konsentrasi oksigen dan prosentase jenuh oksigen terhadap temperatur, pada tekanan udara 101,3 kPa, ditunjukkan pada Gambar 1 [3]. Dengan melakukan pengukuran terhadap kebutuhan oksigen, maka dapat diperoleh besar kandungan zat organik dalam air limbah. Terdapat dua metode untuk melakukan pengukuran, yaitu kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD = biochemical oxygen demand) dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD = chemical oxygen demand). BOD menyatakan jumlah oksigen dalam mg yang diperlukan untuk melakukan transformasi elemen-elemen mampu oksidasi biokimiawi, dengan keberadaan jumlah bakteri dalam 1 liter air. COD ditentukan dengan menggunakan oksidator kuat, seperti potasium dikromat sebagai oksidator.



Gambar 1. Konsentrasi oksigen pada air segar terhadap temperatur untuk % jenuh tertentu dengan tekanan udara 101,3 kPa [3].

1. Desain Instalasi Pengolah Air Limbah

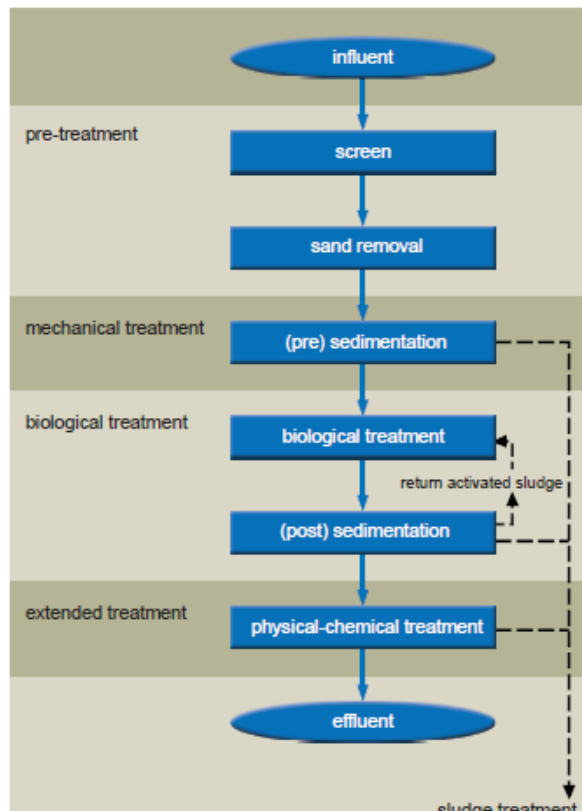
Perlakuan air limbah pada ipal, selain memerlukan desain konstruksi ipal yang kokoh, terutama adalah memperbaiki air limbah sehingga memenuhi persyaratan sebagai air setelah pengolahan (effluent). Ipal juga harus mampu menangani berbagai variasi yang ada termasuk juga variasi dalam jumlah air limbah. Secara umum, desain ipal ditentukan berdasarkan beban hidraulik atau masukan hidraulik, serta derajat kontaminasi pada air limbah atau disebut juga beban biologikal.

Desain hidraulik ditentukan berdasarkan rata-rata jumlah aliran pasokan air limbah yang memerlukan pengolahan. Jumlah rata-rata air limbah biasanya dinyatakan dalam volume per jam. Derajat kontaminasi air limbah ditentukan dengan beban pasokan material organik, BOD atau COD, dan kandungan nutrisi berupa nitrogen dan fosfor. Nitrogen dan fosfor merupakan dua macam nutrisi yang digunakan untuk mengamati air setelah pengolahan hasil ipal, terkait peran dari ke dua zat nutrisi tersebut dalam eutrophication masing-masing baik pada lingkungan air tawar dan laut.

2. Proses Perlakuan Air Limbah

Macam dan jumlah pencemar yang terdapat dalam air limbah akan menentukan tahapan dalam proses perlakuan air limbah pada ipal. Diagram lengkap dari suatu ipal ditunjukkan pada Gambar 2, dimulai dari proses pre-treatment untuk air sebelum pengolahan (influent), hingga beberapa tahap selanjutnya agar diperoleh air setelah pengolahan (effluent) yang memenuhi standar [3]. Pre-treatment diperlukan untuk menghilangkan material kasar dan pasir pada air limbah. Material tersebut jika tidak dapat dihilangkan akan menimbulkan masalah, terutama dapat menghalangi proses lanjutan dan merusak komponen instalasi. Proses primer berupa mechanical treatment yaitu proses untuk menghilangkan sedimentasi awal, sehingga dapat dilanjutkan pada proses sekunder berupa biological treatment. Proses sekunder merupakan proses untuk menghilangkan zat-zat pencemar organik terlarut dan tidak terlarut dengan proses biologi. Kandungan nitrogen dan fosfor dapat dihilangkan juga pada proses sekunder. Padatan biologi yang dihasilkan pada proses sekunder dapat dipisahkan dengan

menggunakan penjernih sekunder. Tahap selanjutnya, air setelah proses pengolahan dapat disalurkan sebagai air permukaan atau sebelumnya dapat juga ditambahkan proses pemurnian berupa physical-chemical treatment. Pada umumnya proses tambahan digunakan untuk menghilangkan elemen lain seperti logam berat, pathogen atau polutan mikro dengan menggunakan karbon aktif, klorinasi, penyaringan membran, ion exchangers atau presipitasi kimiawi.



Gambar 2. Diagram lengkap proses perlakuan air limbah pada ipal [3].

3. DESAIN IPAL INDUSTRI MINUMAN TEH

Industri minuman teh dengan kapasitas air limbah kurang lebih 450 m^3 per hari atau 20 m^3 per jam, tentunya memerlukan suatu ipal agar air limbah dapat disalurkan secara langsung, berupa air permukaan yang memenuhi standar air baku. Proses pengolahan air limbah yang akan digunakan merupakan ipal organik dengan sistem biologi aerobik.

Data kualitas air limbah (influent) beserta data kualitas air setelah pengolahan (effluent) dinyatakan seperti pada tabel 1. Data kualitas air setelah pengolahan merupakan persyaratan dari air limbah olahan agar dapat disalurkan sebagai air permukaan ke sungai atau laut.

Tabel 1. Data kualitas air limbah influent dan air hasil pengolahan effluent.
(Sumber: PT. Tirtakreasi Amrita)

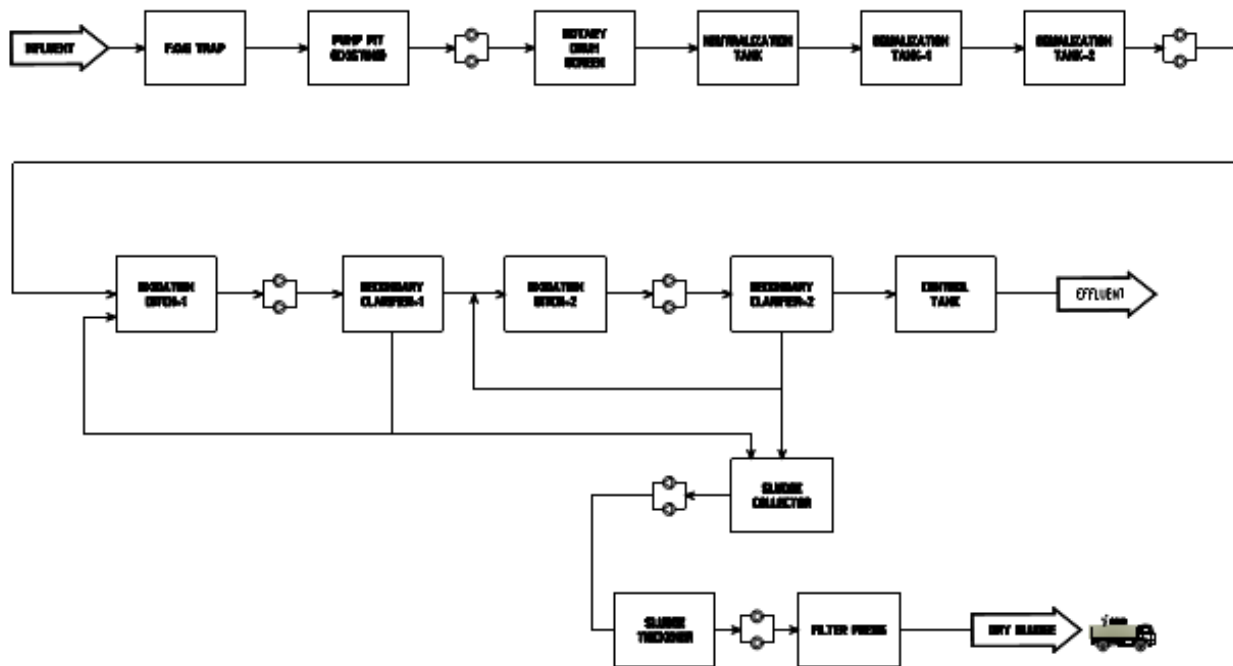
No.	Parameter	Satuan	Influent	Effluent
1.	pH	-	4,5	6,0 – 9,0
2.	BOD (Biological Oxygen Demand)	mg/l	5.000	50
3.	COD (Chemical Oxygen Demand)	mg/l	10.000	100
4.	TDS (Total Dissolved Solids)	mg/l	≤ 1.000	≤ 1.000
5.	FOG (Fat Oil and Grease)	mg/l	100	5
6.	TSS (Total Suspended Solids)	mg/l	1.000	60

Sistem pengolahan air limbah berupa sistem pengolahan aerobik dengan menggunakan cara aerasi, berupa unit kolam oksidasi atau oxydation ditch. Oxydation ditch merupakan kolam berbentuk oval, air limbah akan dialirkan secara berputar sambil dicampurkan bakteri pengolah serta udara atau oksigen sebagai “makanan” untuk bakteri tersebut.

Secara lengkap, pengolahan air limbah industri minuman memerlukan beberapa tahapan

seperti ditunjukkan pada Gambar 3, berupa diaram alir dari ipal dimana air limbah atau

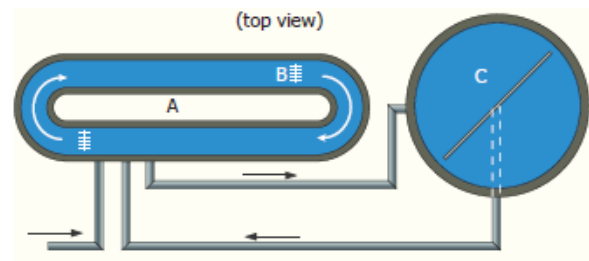
influent sebagai masukan dan air hasil pengolahan atau effluent sebagai luaran.



Gambar 3. Diagram alir dari tahapan proses industri pengolahan air limbah industri minuman (Sumber: PT. Tirtakreasi Amrita)

3.1 Perhitungan Perancangan Kolam Oksidasi Pada Ipal

Meskipun ipal dapat terdiri dari berbagai unit, tetapi unit yang utama adalah kolam oksidasi. Desain ipal untuk menghilangkan zat pencemar hasil industri minuman memerlukan kolam oksidasi atau oxidation ditch sebagai unit utama. Berikut akan dibahas cara-cara penghitungan untuk menentukan jumlah kolam oksidasi dan struktur bangunan kolam, mengingat tingkat kontaminasi air limbah industri ini yang cukup tinggi. Tingkat kontaminasi air limbah dinyatakan dalam nilai BOD sebesar 5000 mg/l, sedangkan COD adalah 10.000 mg/l. Untuk tingkat kontaminasi air limbah yang tinggi maka diperlukan dua tahap pengolahan, yaitu tahap pertama pada kolam oksidasi 1 dan hasilnya akan diolah lebih lanjut pada kolam oksidasi 2. Gambar 3 menunjukkan skema dari kolam oksidasi tradisional yang menggunakan jalan pintas dan dilengkapi dengan unit pengendap limbah.



Gambar 4. Kolam oksidasi tradisional dengan menggunakan sistem pintas. Keterangan:

A = kolam oksidasi, B = aerator sikat, C = unit pengendap

Tahapan dalam melakukan perhitungan untuk desain ipal terutama penentuan kolam oksidasi sebagai berikut:

1. Perhitungan $BOD_{loading}$, yaitu berat BOD dalam kg yang akan diolah atau dihancurkan dalam tiap kolam oksidasi setiap hari. Jika diasumsikan bahwa kandungan BOD yang

masuk (5.000 mg/l), sebagian telah dikurangi pada beberapa tahapan pengolahan sebelumnya (misalnya pada tangki ekualisasi; rotary drum screen, dll.), sehingga bagian yang tertinggal sekitar $BOD_{masuk} = 4.512$ mg/l. Asumsi selanjutnya bahwa dalam kolam oksidasi 1 atau OD_1 maka nilai BOD_{keluar} menjadi kurang lebih $BOD = 2.000$ mg/l. Nilai BOD_{keluar} dari kolam oksidasi 2 atau OD_2 harus mencapai sekitar 50 mg/l sesuai dengan standar peraturan pemerintah.

$$BOD_{loading} = Q_{air} [m^3/hari] \times (BOD_{masuk} - BOD_{keluar}) [g/m^3]$$

$$BOD_{loading} \text{ OD}_1 = 450 \times (4.512 - 2.000) = 1.130.400 [g/hari] \text{ atau } 1.130 [kg/hari].$$

$$BOD_{loading} \text{ OD}_2 = 450 \times (2.000 - 50) = 878 [kg/hari]$$

2. Perhitungan volume tampung atau dimensi yang diperlukan dari setiap kolam oksidasi digunakan untuk memilih dan menentukan kolam oksidasi. Dengan penentuan volume, maka akan dapat ditentukan juga waktu tinggal air di dalam kolam oksidasi. Volume kolam oksidasi dapat ditentukan sebagai berikut [7]:

$$V_{OD} = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S)}{x} \quad (1)$$

Keterangan:

θ_c = 10 hari (berdasarkan desain dari mean cell-residence time)

Y = 0,8 [mg VSS / mg BOD]

VSS = volatile suspended solids)

Q = volume aliran air [m^3 /hari]

S_0 = kadar BOD masuk [mg/l]

S = kadar BOD keluar [mg/l]

x = 4500 mg/l (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids, MLVSS).

Untuk kolam oksidasi 1:

$$V_1 = \frac{10 \cdot 0,8 \cdot 450 (4.512 - 2.000)}{4500} = 2,008 m^3$$

Untuk kolam oksidasi 2:

$$V_2 = \frac{10 \cdot 0,8 \cdot 450 (2.000 - 50)}{4500} = 1,664 m^3$$

Desain kolam oksidasi dengan struktur yang efisien dan pertimbangan estetika, maka dapat ditentukan jumlah kolam oksidasi sama dengan dua unit dan memiliki dimensi yang sama. Hasil perhitungan volume di atas yaitu:

$$(P \times L \times D) = (43,2 \times 12,0 \times 4,0) m$$

Jika diperhitungkan dengan batas atas dari permukaan air yang diisi air limbah sekitar 20 cm di bawah batas atas kolam, maka kemampuan tampung dari tiap kolam adalah:

$$V = 43,2 \times 12,0 \times 3,8 = 1.970 m^3.$$

Sedangkan waktu tinggal air dengan besar arus $Q = 450 m^3/hari$ adalah :

$$\tau = 1.970 / 450 = 4,4 \text{ hari.}$$

3. Perhitungan kebutuhan oksigen atau udara ditentukan berdasarkan jumlah BOD yang akan dihilangkan dalam kolam oksidasi yaitu sebesar:

$$(1.130 + 878) \text{ kg BOD/hari.}$$

Untuk tiap kg BOD diperlukan 2 kg oksigen atau O_2 agar terjadi reaksi oksidasi, sehingga jumlah kg O_2 per hari yang diperlukan adalah:

$$O_2 = 2 \text{ kg } O_2/\text{kg BOD} \times (1.130 + 878) \text{ kg}$$

$$\text{BOD/hari} = 4.106 \text{ kg } O_2/\text{hari.}$$

Oksigen yang diperlukan pada ipal ini akan dipasok oleh sistem dengan Low Speed Surface Aerators. Daya keseluruhan yang dibutuhkan untuk menghasilkan jumlah O_2 dalam kg yang diperhitungkan dengan cara seperti diatas [7], adalah:

$$P_{Aerator} = \frac{\eta O_2}{\alpha \cdot h/d} \quad (2)$$

O_2 = jumlah oksigen diperlukan [kg/hari]

η = safety factor = 2

α = efisiensi transfer oksigen = 1,2 – 2,4 [kg O₂/kW.jam]
 h/d = 24 jam/hari

$$P_{\text{Aerator}} = \frac{2 \times 4.016}{1,8 \times 24} = 186 \text{ kW atau } 250 \text{ HP}$$

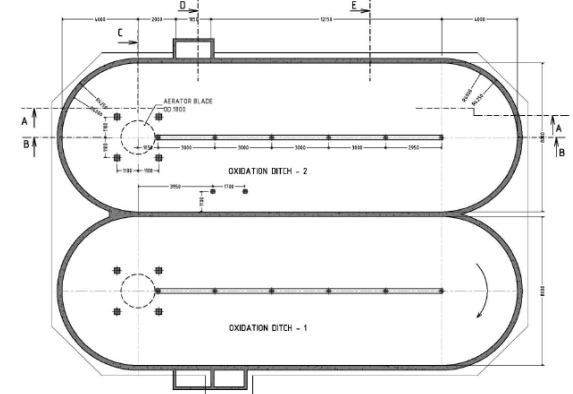
Berdasarkan hasil perhitungan daya aerator di atas, maka dapat ditentukan pemakaian surface aerator sebanyak empat unit dengan masing-masing unit memiliki daya yang sama yaitu 60 HP. Tiap kolam oksidasi akan dilengkapi dengan dua surface aerator dan ditempatkan pada ke dua ujung kolam. Gambar 5 menunjukkan desain satu pasang kolam oksidasi sesuai dengan rancangan dan dilengkapi oleh surface aerator seperti pada Gambar 6.

3.2 Hasil Pengolahan Air Limbah

Air limbah yang telah diproses dalam ipal atau effluent telah dianalisis di laboratorium tersertifikasi. Hasil laporan analisis ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Laporan analisis air limbah yang telah diolah dalam ipal. (Sumber: PT. Tirtakreasi Amrita)

Parameter	Unit	Hasil Tes	Metode
- BOD 5 days 20 ⁰ C	mg/l	15,91	5210 B
- COD by K ₂ Cr ₂ O ₂	mg/l	42,56	5220 B
- Oil & Grease	mg/l	1,3	5520 b
- pH	-	6,48	4500 H'B
- Total dissolved solid	mg/l	450	2540 C
- Total suspended solid	mg/l	22,6	2540 D



Gambar 5. Desain satu pasang kolam oksidasi atau oxidation ditch (OD). (Sumber: PT. Tirtakreasi Amrita)



Gambar 6. Surface aerator yang diletakkan pada kolam oksidasi. (Sumber: PT. Tirtakreasi Amrita)

4. SIMPULAN DAN SARAN

Instalasi pengolahan air limbah yang digunakan untuk industri minuman teh telah di desain dan dioperasikan sesuai dengan rancangan, yaitu menggunakan satu pasang kolam oksidasi yang dilengkapi dengan surface aerator masing-masing sebanyak dua unit. Hasil pengolahan air limbah telah dianalisis di laboratorium tersertifikasi, dan memberikan laporan yang menyatakan bahwa dengan pengujian menggunakan parameter standar dihasilkan besaran yang memenuhi standar air baku atau air permukaan (lihat Tabel 2).

Pada perancangan sebuah ipal, sebaiknya diketahui semua kandungan dan pencemar yang ada di dalam air limbah yang akan diolah di dalam ipal. Meskipun cemaran atau kontaminasi di dalam air limbah cukup kompleks, tetapi dapat dilakukan berbagai cara atau pengolahan air limbah yang terintegrasi sehingga diperoleh air hasil pengolahan yang sesuai dengan standar air baku.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Spellman, F.R., *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*, Lewis Publishers, NY, 2013
- [2] Davis, M.L., *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*, The McGraw-Hill Co., NY., 2010
- [3] Sanitary Engineering.
www.sanitaryengineering.tudelft.nl
- [4] von Sperling, M., *Basic Principles of Wastewater Treatment*, IWA Publishing, 2007.
- [5] Woodard, F., *Industrial Waste Treatment Handbook*, Butterworth Heinemann, Boston, 2001.
- [6] Viessman Jr., W., and Hammer, M.J., *Water Supply and Pollution Control*, 4th ed. , Harper Collins Publishers, New York, 1985.
- [7] Spellman, FR., *Mathematics Manual for Water and Wastewater Treatment Plant Operators*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2005.